



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 44 286 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 03 H 5/00
G 06 T 5/00
G 01 R 29/08
G 01 R 31/00

②1 Aktenzeichen: 197 44 286.2
②2 Anmeldetag: 7. 10. 97
④3 Offenlegungstag: 16. 4. 98

DE 197 44 286 A 1

③0 Unionspriorität:
265997/96 07. 10. 96 JP
268249/96 09. 10. 96 JP

⑦1 Anmelder:
Advantest Corp., Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:
Zumstein & Klingseisen, 80331 München

⑦2 Erfinder:
Kitayoshi, Hitoshi, Tokio/Tokyo, JP

BEST AVAILABLE COPY

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Visualisieren eines Wellenquellenbilds

⑤7 Gemäß der Erfindung wird der Rekonstruktionsbereich eines Hologramm-rekonstruierten Bilds segmentiert. Eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) wird ausgeführt, nachdem die Hologramm-Meßdaten $V(R)$ mit einer Wichtungsfunktion multipliziert wurden. Eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) wird ausgeführt, nachdem die inverse Antennenempfindlichkeitsmatrix $A^{-1}(R'_{a,b})$ für jedes Segment mit einer inversen Ausbreitungsfunktion $r'_{a,b} \exp(j2\pi r'_{a,b}/\lambda)$ ausgeführt ist, um $B^{-1}_{a,b}(s, t)$ zu finden, woraufhin dieses mit einer Wichtungsfunktion multipliziert wird. Nachdem die zwei FFT-Ausgänge miteinander multipliziert sind, wird eine inverse schnelle Fourier-Transformation (IFFT) ausgeführt. Eine Kompensation wird für die Wichtungsfunktion durchgeführt, und der Ausgang wird zum Segment-rekonstruierten Bild gemacht. Außerdem wird eine Radiohologrammbeobachtung an zwei Abtastoberflächen ausgeführt, einer Horizontalpolarisationsantenne und einer Vertikalpolarisationsantenne, die an jeder Abtastoberfläche angeordnet sind, und die Spannungsvektorverteilung, die durch die Antennen empfangen wird, wird gespeichert. Die Größen des Fehlers der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne und der Fehler der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne werden aufgefunden und die Empfangsspannungsvektoren und die inversen Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrizen werden selektiv verwendet, um die drei ...

DE 197 44 286 A 1

- Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Visualisieren eines Wellenquellenbilds auf der Grundlage von Hologramm-Meßdaten, die durch Radiowellenhologrammbeobachtung erhalten werden.
- Verfahren zur Visualisierung von Radiowellen, welche Welleninterferenz verwenden, enthalten jeweils aktive Visualisierungstechniken, wie etwa synthetisches Aperturradar, Schneeradar und Untergrundradar ebenso wie passive Visualisierungsverfahren, wie etwa Radioastronomie und Radiometrie [(1) Masaru Matsuo, Kuniyoshi Yamane: Radar Holography, Electronic Communication Society, Hg., 1980. (2) Yoshinao Aoki: Wave Signal Processing, Morikita Shuppan, 1986]. Derartige Verfahren sind bereits für Anwendungen beim Prüfen von Wellenquellen unerwünschter Radiowellen-emission vorgeschlagen worden [(3) Jun'ichi Kikuchi, Motoyuki Sato, Yoji Nagasawa, Risaburo Sato; A Proposal for Searching the Electromagnetic Wave Sources by Using a Synthetic Aperture Technique, IECE transactions on B, Band J68-B, Nr. 10, S. 1194-1201, Oktober 1985]. Spektrale Hochauflösungsalgorithmen auf der Grundlage von MLM (Maximum Likelihood Method bzw. Verfahren maximaler Wahrscheinlichkeit), MEM (Maximum Entropy Method bzw. Verfahren maximaler Entropie) und MUSIC (Multiple Signal Classification bzw. mehrfache Signalklassifizierung) [(4) S. Kesler, Hg.: Modern Spectrum Analysis II, IEEE Press, 1986] oder verbesserte ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques bzw. Abschätzung von Signalparametern über Invarianz-Rotationstechniken) [(5) R. Roy und T. Kailath: ESPRIT-Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Band ASSP-37, Nr. 7, S. 984-995, Juli 1989] sind bereits vorgeschlagen worden, um höhere Auflösungen beim Messen bzw. Sondieren einer entfernten Wellenquelle zu verwirklichen. Außerdem sind Beispiele der Anwendung von MEM-Algorithmen zum Sondieren einer nahen Wellenquelle beschrieben [(2) Yoshinao Aoki: Wave Signal Processing, Morikita Shuppan, 1986; (6) Jun'ichi Kikuchi, Yoji Nagasawa: Search for Electromagnetic Wave Sources by Using the Maximum Entropy Method, IECE Transactions on B, Band J69-B, Nr. 9, S. 949-957, September 1986].
- MLM, MUSIC und ESPRIT sind jedoch auf die Abschätzung von Punktquellen beschränkt, und bei MEM kann entweder ein Punktwellenquellen-Rekonstruktionsmodus oder ein Wellenquellen-Rekonstruktionsmodus mit normaler Verteilungsstreuung in Übereinstimmung mit der Anzahl von Vorbestimmungsfehler-Filtergrößen gewählt werden.
- Wenn mit unerwünschter Emission von einer tatsächlichen Vorrichtung umgegangen werden soll, ist die Wellenquelle jedoch selten als begrenzte Anzahl von punktförmigen Quellen verteilt; mit größerer Wahrscheinlichkeit um eine expansive planare Wellenquelle. Mit anderen Worten sind zur Visualisierung der Wellenquellenverteilung einer unklaren Konfiguration die vorstehend genannten Algorithmen offenbar ungeeignet. Die Visualisierung, welche eine unerwünschte Emission als Ziel hat, sollte deshalb die Wellenquellenverteilung als kontinuierliche Wellenquellenverteilung anstelle einer Ansammlung einer begrenzten Anzahl von Punktwellenquellen nutzen. Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben außerdem einen Algorithmus-SPIM (Spectrum Phase Interpolation Method bzw. Verfahren zur Interpolation der Spektrumphase) und dessen bzw. ihre Anwendung zum Rekonstruieren eines korrekten Wellenquellenbilds einer Konfiguration vorgeschlagen, bei welcher Punktwellenquellen zusammen mit einer Wellenquelle gleichzeitig existieren, die sich über einen Bereich bzw. eine Fläche verteilt bzw. streut [(7) Hitoshi Kitayoshi: High Resolution Technique for Short Time Frequency Spectrum Analysis, IEICE Transactions on A, Band J76-A, Nr. 1, S. 78-81, Januar 1993; (8) Hitoshi Kitayoshi: High Resolution Technique for 2-D Complex Spectrum Analysis, IEICE Transactions on A, Band J76-A, Nr. 4, S. 687-689, April 1993].
- Nichtsdestoweniger erfordert dieses Verfahren das Einstellen eines Schwellenwerts zur Abschätzung einer punktwellenquelle, und es ist deshalb zur Visualisierung unerwünschter Emission nicht geeignet. Es wurde ein Beispiel berichtet, bei welchem eine Visualisierungstechnik zum Umgang mit einer kontinuierlichen Wellenquellenverteilung die Beziehung zwischen dem beobachteten Feld und einer Wellenquelle willkürlicher Form als Fresnel-Kirchhoff-Beugungsintegral dargestellt ist [(9) Yoshinao Aoki, Shigeki Ishizuka: Numerical Two-Dimensional Fresnel Transform Methods, IECE Transactions on B, Band J57-B, Nr. 8, S. 511-518, August 1974]. Dieses Verfahren legt jedoch demjenigen Benutzer eine Beschränkung auf, der visualisiert werden kann, da es einen Fresnel-Bereich als Objekt nutzt. Dieses Verfahren leidet außerdem an dem Nachteil einer schlechten Auflösung an den Rändern des visualisierten Bereichs, weil eine Quasi-Fourier-Transformierte bzw. Transformation verwendet wird und die Rekonstruktionsergebnisse im Wellenraum liegen.
- Schließlich umfaßt die Feldmessungsforschung, welche die Richtfähigkeit einer Antenne nutzt, die Feldmessung im Bereich der Antenne [(10) A.D. Yaghjian: An Overview of Near-Field Antenna Measurements, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Band AP-34, Nr. 1, S. 30-45, Januar 1986; und (II) Tasuku Teshirogi, Near-Field Antenna Measurement, IECE Magazine, Band 62, Nr. 10, S. 1145-1153, Oktober 1979]. In diesen Fällen wird jedoch die Feldverteilung einer ausreichend großen Meßoberfläche ($D \times D$) in bezug auf die Antenne ($L \times L$) verwendet, die den Gegenstand der Beobachtung bildet, und zwar unter den Bedingungen $L < D$. Bei der bei der Messung verwendeten Sondenantenne handelt es sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften bzw. Kennlinien um eine Vorrichtung zum Untersuchen des Fernfelds, und das Verfahren kann deshalb nicht unter ungeänderten Bedingungen verwendet werden, bei den $L > D$.
- Als nächstes wird ein numerisches Radiohologramm-Rekonstruktionsverfahren gemäß dem Stand der Technik erläutert, das keine Fresnel-Approximation oder Fraunhofer-Approximation verwendet.
- Eine Oberflächenstromquelle $J(R')$ existiert im Wellenquellenpunkt x', y', z' auf den orthogonalen Koordinaten, die in dem Hologrammbeobachtungsmodell von Fig. 1 gezeigt sind, und das dadurch erzeugte Beobachtungspunktfeld $x, y, z = 0$ ist bzw. lautet $E(R)$. Außerdem handelt es sich bei dem Verteilungsbereich der Wellenquelle $J(R')$ um eine endliche zweidimensionale Ebene bei $z = z'$, wobei:
- $-L/2 \leq x' \leq L/2$ und $-L/2 \leq y' \leq L/2$;
- und bei dem Beobachtungsbereich von $E(R)$ handelt es sich um eine zweidimensionale Ebene bei $z = 0$, wobei:

$$-D/2 \leq x \leq D/2 \text{ und } -D/2 \leq y \leq D/2.$$

Unter Verwendung einer dyadischen Green'schen Funktion G im dreidimensionalen freien Raum kann $E(R)$ dargestellt werden durch:

$$E(R) = -j \omega \mu_0 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \tilde{G}(R - R') \cdot J(R') dx' dy' \quad (1)$$

Wenn jedoch die effektive Vektorlänge einer Antenne, die zum Beobachten des Feldvektors E verwendet wird, auf l_1 eingestellt wird und die Wellenlänge λ ist, beträgt die Spannung V zum Empfangen im Bereich $r = |R - R'| \gg \lambda$:

$$V = g l_1 \cdot E \quad (2)$$

Hierbei ist g eine Konstante. Mit anderen Worten kann l_1 als Funktion angesehen werden, welche die Richtfähigkeit und Empfindlichkeit anzeigt, die nicht vom Abstand r abhängt. Aus den Gleichungen (1) und (2) kann die Ausgangsspannung von einer Antenne, die im Beobachtungspunkt R angeordnet ist, festgelegt werden durch:

$$V(R) = -j \omega \mu_0 g \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} l_1(R - R') \cdot \tilde{G}(R - R') \cdot J(R') dx' dy' \quad (3)$$

Die Formel (3) ergibt eine Empfangsspannung durch eine beliebige Antenne in bezug auf eine beliebige Oberflächenstromverteilung. Wenn das Antennen-Abtastsystem in einer tatsächlichen Hologramm-Messung in Betracht gezogen wird, kann ein Antenne, welche das Feld in den x - und y -Richtungen empfängt, problemlos realisiert werden; ein exakter Empfang des Felds in der z -Richtung ist jedoch äußerst schwierig. Ungeachtet des Vorhandenseins eines Stromvektors der z -Komponente auf der Oberfläche der Vorrichtung, die Gegenstand der Messung bildet, wird in der Hologramm-Meßebeine nahezu nichts empfangen.

Die nachfolgende Diskussion ist auf den Fall beschränkt, bei welchem der Ebenenstrom lediglich eine horizontale Komponente und eine vertikale Komponente aufweist und der Empfang durch Antennen mit horizontaler Polarisation und vertikaler Polarisation erfolgt.

Antenne mit horizontaler Polarisation und vertikaler Polarisation werden in der Hologramm-Meßebeine angeordnet und die Spannungsvektoren, die dadurch erhalten werden, lauten:

$$V(R) = \begin{bmatrix} V_h(R) \\ V_v(R) \end{bmatrix} = g \begin{bmatrix} l_1^h \\ l_1^v \end{bmatrix} \cdot E(R) \quad (4)$$

Bei V_h und V_v handelt es sich dabei um empfangene Spannungen der horizontal polarisierten und vertikal polarisierten Antennen und bei l_1^h und l_1^v handelt es sich um effektive Vektorlängen dieser Antennen. Die Vorrichtung verwendet zwei Empfangsantennen derselben Form, wobei die Hauptpolarisationsempfindlichkeit $A\theta$ und die Querpolarisationsempfindlichkeit $A\Phi$ sind. Außerdem sind der Zenithwinkel und der Azimuthwinkel des Punkts R' θ_h und Φ_h von der Horizontalpolarisationsempfangsantenne aus gesehen, die in Punkt R angeordnet ist, und der Zenithwinkel und der Azimuthwinkel des Punkts R' sind θ_v und Φ_v von der Vertikalpolarisationsempfangsantenne aus gesehen. Die Azimuthwinkel Φ_h und Φ_v stellen Winkel dar, die in bezug auf die Richtung der x -Achse bzw. der y -Achse gemessen sind.

Wenn der auf der rechten Seite der Gleichung (3) vorhandene Abschnitt, der die Empfangsempfindlichkeit aufgrund der Punktstromquelle repräsentiert, dargestellt ist als:

$$\begin{aligned}
 \widetilde{B}(R-R') &= -j\omega \mu_0 g \begin{bmatrix} l_1^h(R-R') \\ l_1^v(R-R') \end{bmatrix} \cdot \widetilde{G}(R-R') \\
 &= \begin{bmatrix} A\theta(\theta_h, \phi_h) \sin\theta_h & A\phi(\theta_h, \phi_h) \sin\theta_v \\ A\phi(\theta_v, \phi_v) \sin\theta_h & A\theta(\theta_v, \phi_v) \sin\theta_v \end{bmatrix} \frac{\exp(-j2\pi r/\lambda)}{r} \quad (5) \\
 &= \widetilde{A}(R-R') \frac{\exp(-j2\pi r/\lambda)}{r}
 \end{aligned}$$

können V_h und V_v aus der folgenden Gleichung auf Grundlage der Gleichungen (3) und (4) erhalten werden:

$$V(R) = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \widetilde{B}(R-R') \cdot J(R') \, dx' dy' \quad (6)$$

Andererseits ergeben die Gleichungen (5) und (6):

$$J(R') = \widetilde{A}^{-1}(R-R') \cdot V(R) \cdot \exp(j2\pi r/\lambda) \cdot r dx dy \quad (7)$$

Gemäß Gleichung (4) lauten die empfangenen Spannungsvektoren:

$$V(R) = \begin{bmatrix} V_h(R) \\ V_v(R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_h(x, y) \\ V_v(x, y) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Aus Gleichung (7) werden lediglich zwei Wellenquellenstromvektorkomponenten für diese Spannungsvektoren visualisiert:

$$J(R') = \begin{bmatrix} J_x(R') \\ J_y(R') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_x(x', y', z) \\ J_y(x', y', z) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Der vorstehend erläuterte Stand der Technik hat die folgenden Probleme:

Auf Grundlage der Gleichung (6) hat $V(R)$ $N \times N$ Datenbestandteile und der visualisierte Punkt $J(R')$ hat $M \times M$ Bestandteile, wodurch eine Berechnung in der Größenordnung von $N^2 \times M^2$ erforderlich ist und außerdem eine beträchtliche Zeitdauer erforderlich ist, um die Visualisierungsergebnisse zu erhalten.

Der Wellenquellenstromvektor kann nicht genau gemessen werden, weil auf Grundlage von Gleichung (9) kein Hinweis auf die Richtungsfähigkeit entsprechend der J_z -Komponente einer Sondenantenne vorliegt, die bei der Messung von $V(R)$ verwendet wird. Außerdem können lediglich zwei Komponenten der Wellenquellenstromvektoren visualisiert werden.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Visualisieren eines Wellenquellenbilds zu schaffen, das unter Verwendung einer partiellen Divisions-FFT (Fast Fourier Transform bzw. schnelle Fourier-Transformation) ermöglicht, und das einen praktikierbaren Zeitpegel reduzieren bzw. verringern kann, der erforderlich ist, die Visualisierungsergebnisse zu erhalten.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Wellenquellenbild-Visualisierungsverfahren zu schaffen, das eine Visualisierung von drei Wellenquellenstromvektorkomponenten aus Hologramm-Meßdaten ermöglicht.

Gelöst wird dieses Verfahren durch die Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 3. Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung ist im Anspruch 2 angegeben.

Gegenstand der Erfindung bildet demnach ein Verfahren zum Visualisieren eines Wellenquellenbilds, realisiert durch

Verwenden einer partiellen Divisions-FFT zum Beschleunigen der Berechnungsholographie, bei dem es sich um ein numerisches Rekonstruktionsverfahren von Hologramm-Meßdaten mittels Radiohologrammbeobachtungen handelt, aufweisend die Schritte:

Segmentieren des Rekonstruktionsbereichs eines Hologramm-rekonstruierten Bilds durch die Größe der Hologramm-Meßoberfläche,

Ausführen einer ersten FFT (Fast Fourier Transform bzw. schnelle Fourier-Transformierte bzw. -Transformation) nach einem Multiplizieren von Hologramm-Meßdaten mit einer Wichtungsfunktion,

Ausführen einer zweiten FFT nach Festlegen einer Rekonstruktionsbrennweite und einer numerischen Paarbezeichnung eines Segments des rekonstruierten Bilds, und Multiplizieren mit einer Wichtungsfunktion eines Werts, der durch Multiplizieren einer inversen Antennenempfindlichkeitsmatrix für jedes der Segmente mit einer inversen Ausbreitungsfunktion erhalten wird, Ausführen einer IFFT (Inverse Fast Fourier Transform bzw. inverse schnelle Fourier-Transformation) nach multiplizieren des Ausgangs der ersten FFT durch die zweite FFT,

Kompensieren in Segmenteinheiten der Wichtungsfunktion, die beim Multiplizieren der Hologramm-Meßdaten verwendet werden,

Kompensieren in Einheiten des Rekonstruktionsbereichs der Wichtungsfunktion, die beim Multiplizieren des Werts erhalten wird, der durch Multiplizieren der inversen Antennenempfindlichkeitsmatrix für jedes Segment mit der inversen Ausbreitungsfunktion erhalten wird,

Anzeigen des Ausgangs dieses Schritts in einer Position, welche das Segment bezeichnet und Ausgeben dieses Schritts eines Segment-rekonstruierten Bilds, und

Durchführen sämtlicher der vorstehend genannten Vorgänge für sämtliche Segmente und Erzeugen eines Hologramm-rekonstruierten Bilds.

Die Verwendung einer partiellen Divisions-FFT verringert die Zeit, die erforderlich ist, die Visualisierungsergebnisse aus den Hologramm-Meßdaten zu erhalten.

Außerdem kann das Segmentieren sich überlappen.

Durch Segmentierung des Rekonstruktionsbereichs eines Hologramm-rekonstruierten Bilds, in welchem sich die Segmente überlappen, kann die Verwendung von Daten an Rändern, wo der Schneidfehler groß ist, vermieden werden, und ein rekonstruiertes Bild kann in Segmenteinheiten erzeugt werden, in welchen sich die Genauigkeit mit der Nähe zum Zentrum jedes Segments verbessert.

Gegenstand der Erfindung bildet außerdem ein Verfahren zum Visualisieren eines Wellenquellenbilds zum Visualisieren von drei Wellenquellenstromvektorkomponenten aus Hologramm-Meßdaten, die mittels Radiohologrammbeobachtung erhalten wurden, aufweisend die Schritte:

Ausführen einer Radiohologrammbeobachtung auf zwei Abtastoberflächen, einer ersten Abtastoberfläche und einer zweiten Abtastoberfläche,

Anordnen von zumindest zwei Sondenantennen, einer Horizontalpolarisationsantenne und einer Vertikalpolarisationsempfangsantenne auf jeder der Abtastoberflächen und Aufzeichnen der Spannungsvektorverteilung, die durch die Antennen empfangen wird,

Berechnen der gesamten Richtungseigenschaften bzw. -charakteristika bzw. -kennlinien der Sondenantennen unter Verwenden eines Momentenverfahrens, und Auffinden einer Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne und der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne, die durch die Wellenquellenstromvektoren erzeugt ist, und

Vergleichen von Determinanten der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrizen, Auffinden einer Fehlergröße der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne und eines Fehlers der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne, und selektives Verwenden von Empfangsspannungsvektoren und inversen Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrizen zum Auffinden und Visualisieren der drei Wellenquellenstromvektorkomponenten.

Die drei Wellenquellenstromvektorkomponenten können dadurch aus den Hologramm-Meßdaten visualisiert werden, das jeder der vorstehend erläuterten Schritte ausgeführt wird.

Die vorstehend angeführten sowie weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung erschließen sich aus der folgenden Beschreibung auf Grundlage der beiliegenden Zeichnungen, die Beispiele bevorzugter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigen; im einzelnen zeigen:

Fig. 1 ein Modell einer Hologrammbeobachtung,

Fig. 2 ein Flußdiagramm der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 3 den Aufbau und die Stromverteilung eines Abtastempfangsantennenelements zur Verwendung bei der Hologramm-Messung, analysiert unter Verwendung eines Momentenverfahrens, wobei es sich um ein Photo eines auf einer Anzeigevorrichtung dargestellten Halbtonbilds handelt,

Fig. 4 eine Kurvendarstellung eines Vergleichs der Auflösung eines rekonstruierten Bilds mit der Position einer Wellenquelle auf der x-Achse,

Fig. 5 eine Kurvendarstellung der Abhängigkeit des Amplitudenwerts des rekonstruierten Bilds von der Position der Wellenquelle,

Fig. 6 eine Kurvendarstellung der Abhängigkeit der Hologramm-Rekonstruktionsauflösung unter dem Abstand z' von der Meßoberfläche zu dem Wellenquellenpunkt,

Fig. 7 eine schematische Ansicht einer Meßvorrichtung, die auf experimenteller Basis zum Beobachten eines Radiohologramms bereitgestellt ist,

Fig. 8 eine Kurvendarstellung der experimentellen Ergebnisse von Amplitudenwerten, die in einer Hologramm-Bildrekonstruktion einer Dipol-Antenne konstruiert sind, die auf einer horizontalen Achse angeordnet ist,

Fig. 9 eine Tabelle der Visualisierungsauflösung von Punktwellenquellen,

Fig. 10 ein Photo eines Halbtonbilds, das auf einer Anzeigevorrichtung dargestellt ist, von elektromagnetischen Wellenbildern einer EUT (Equipment Under Test bzw. getestete Anlage), beobachtet bei 10 GHz,

Fig. 11 ein Photo einer EUT, verwendet bei elektromagnetischen Wellenbild-Visualisierungsexperimenten, und Fig. 12 eine schematische Ansicht einer Meßvorrichtung, die auf experimenteller Basis zum Beobachten von Radiohologrammen gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bereitgestellt ist.

Die erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung nutzt ein Verfahren zum Ableiten des hologrammnumerischen Rekonstruktionsverfahrens gemäß dem Stand der Technik, das keine Fresnel-Approximation oder Fraunhofer-Approximation nutzt, aus einer Fourier-Transformierten bzw. Transformation mittels partieller Division und es enthält die Kompensation der Richtfähigkeit der Empfangsantennen.

Zunächst lautet in Gleichung (6) der Beobachtungsbereich $E(R)$ $-D/2 \leq x \leq D/2$ und $-D/2 \leq y \leq D/2$. Zunächst wird der Fall, demnach $D < L$ (ein weiter bzw. breiter Bereich einer Wellenquellenverteilung in bezug auf den Meßbereich) in Betracht gezogen. Wenn dabei M eine positive ganze Zahl ist und

$$L = MD \quad (10)$$

ist die in der folgenden Gleichung gezeigte Modifikation möglich:

$$V(R) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{M-1} \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} \tilde{B}(R-R'_{m,n}) \cdot J(R'_{m,n}) ds dt \quad (11)$$

Hierbei sind $R'_{m,n} = (S + x_m, t + y_n, z')$ und x_m und y_n gegeben durch:

$$x_m = (m - (M-1)/2)D \quad (12)$$

$$y_n = (n - (M-1)/2)D \quad (13)$$

In diesem Fall gilt

$$\tilde{B}_{m,n}(s, t) = \frac{\tilde{A}(R'_{m,n})}{r'_{m,n}} \exp(-j2\pi r'_{m,n}/\lambda) \quad (14)$$

wobei $r'_{m,n} = |R'_{m,n}|$.

Wie aus Gleichung (5) und Gleichung (14) hervorgeht, handelt es sich bei Gleichung (11) um ein Konvolutionsintegral von $J(R'_{m,n})$ und $B_{m,n}(s, t)$, und Gleichung (11) wird deshalb durch Darstellen der Fourier-Transformierten bzw. -Transformation im zweidimensionalen (s, t) als $F\{\cdot\}$ und der inversen Fourier-Transformierten bzw. -Transformation als $F^{-1}\{\cdot\}$ modifiziert.

$$V(R) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{M-1} F^{-1}\{F\{\tilde{B}_{m,n}(s, t)\} \cdot F\{J(R'_{m,n})\}\} \quad (15)$$

Unter Verwendung der Konkurrenz der Größe der $V(R)$ -Beobachtungsfläche und der Größe der (s, t) -Oberfläche ergibt die Fourier-Transformierte bzw. -Transformation und eine Multiplikation mit $F(B_{a,b}^{-1}(s, t))$ von beiden Seiten der Gleichung (15):

$$F\{\tilde{B}^{-1}_{a,b}(s, t)\} \cdot F\{V(R)\} = F\{\tilde{B}^{-1}_{a,b}(s, t)\} \cdot \left(\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{M-1} F\{\tilde{B}_{m,n}(s, t)\} \cdot F\{J(R'_{m,n})\} \right) \quad (16)$$

Dabei gilt

$$\tilde{B}^{-1}_{a,b}(s, t) = \tilde{A}^{-1}(R'_{a,b}) r'_{a,b} \exp(j2\pi r'_{a,b}/\lambda) \quad (17)$$

wobei $A^{-1}(R'_{a,b})$ die inverse Matrix von $A(R'_{a,b})$ ist.

Wenn auf Grundlage der Gleichungen (14) und (17) auf der rechten Seite von Gleichung (16) die Änderung der Amplitude von $A(R'_{m,n})$ in bezug auf s und t ausreichend allmählich erfolgt, und wenn darüber hinaus die Phasenänderung ausreichend klein ist im Vergleich zu $2\pi r'_{m,n}/\lambda$, d. h., wenn die Amplituden- und Phasenrichtfähigkeit einer Empfangsantenne nicht komplex sind, wird $F\{B_{a,b}^{-1}(s,t)\} \cdot F\{B_{m,n}(s,t)\}$ nur dann zur Einheitsmatrix, wenn sowohl $m = a$ wie $n = b$, und anderweitig im wesentlichen gleich null. Demnach wird die Gleichung (16) zu:

$$F\{\tilde{B}^{-1}_{a,b}(s,t)\} \cdot F\{V(R)\} = F\{J(R'_{a,b})\} \quad (18)$$

Eine inverse Fourier-Transformation der rechten Seite ergibt:

$$J(R'_{a,b}) = F^{-1}\{F\{\tilde{B}^{-1}_{a,b}(s,t)\} \cdot F\{V(R)\}\} \quad (19)$$

Die Wellenquellenverteilung $J(R')$ wird daraufhin auf Grundlage von Hologramm-Meßdaten $V(R)$ ermittelt. Dabei gilt

$$J(R') = \begin{pmatrix} J_x(R') \\ J_y(R') \end{pmatrix} \quad (20)$$

Auf diese Weise wird von den Objekt bzw. Gegenstandsflächen, die durch $M \times M$ geteilt sind, die Anzahl a, b der Oberfläche, die visualisiert werden soll, in die Gleichung (19) eingesetzt, wodurch die Wellenquelle dieser Oberfläche abgeschätzt werden kann. Außerdem kann eine rasche Berechnung erzielt werden, indem eine zweidimensionale FFT für die Fourier-Transformierte bzw. -Transformation und die inverse Fourier-Transformierte bzw. Transformation verwendet werden, die in Gleichung (19) enthalten sind.

Wenn die Anzahl an Datenbestandteilen für $V(R)$ $N \times N$ ist und die Anzahl an Datenbestandteilen von $J(R')$, die visualisiert werden sollen, $M \times M$ ist, verringert die Verwendung der Gleichung (19) die Menge bzw. den Rechenaufwand auf die Größenordnung von $20(M/N)^2 \times N \log_2(2N)$, und die Zeitdauer, die zum Erzielen der Visualisierungsergebnisse erforderlich ist, wird ebenfalls verringert. Im Fall von $N = 64$ und $M = 640$ beispielsweise kann der Rechenaufwand auf etwa $1/1000$ im Vergleich zum Verfahren gemäß dem Stand der Technik verringert werden.

Fig. 2 zeigt ein Flußdiagramm der ersten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung zum Ausführen der Berechnung von Gleichung (19). Eine Modifikation der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird zunächst in bezug auf Fig. 2 erläutert.

Zunächst wird der Rekonstruktionsbereich eines rekonstruierten Hologrammbilds durch die Größe $(D \times D)$ einer Hologramm-Meßoberfläche segmentiert. Als nächstes werden die Hologramm-Meßdaten $V(R)$ mit einer Wichtungsfunktion (beispielsweise $\cos(\pi(R/2)^{1/2}D)$) (S1) multipliziert, gefolgt durch Ausführen einer schnellen Fourier-Transformation (FFT) (S2).

Als nächstes werden a und b , die ein Segment des rekonstruierten Bilds bezeichnen und eine Rekonstruktionsbrennweite z zugeordnet (S3), und die inverse Antennenempfindlichkeitsmatrix $A^{-1}(R'_{a,b})$ wird mit der inversen Ausbreitungsfunktion $r'_{a,b} \exp(j2\pi r'_{a,b}/\lambda)$ für jedes Segment multipliziert, um $B_{a,b}^{-1}(s,t)$ (S4) zu ermitteln. Dieses Produkt seinerseits wird mit einer Wichtungsfunktion (beispielsweise $\cos(R/2c)$) (S5) multipliziert und eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) wird durchgeführt (S6). Nach Multiplizieren der Ausgänge von S2 und S6 (S7) wird eine inverse schnelle Fourier-Transformation durchgeführt (S8), wobei die Kompensation der Wichtungsfunktion, die zum Multiplizieren der Hologramm-Meßdaten $V(R)$ verwendet wird, in Segmenteneinheiten (S9) ausgeführt wird, und wobei die Kompensation der Wichtungsfunktion, die verwendet wird, um $B_{a,b}^{-1}(s,t)$ zu multiplizieren, in Rekonstruktionsbereichseinheiten (S10) ausgeführt wird. Der Ausgang von S10 wird in der Position der Segmente a, b gespeichert und angezeigt und zum rekonstruierten Bild des Segments (S11) gemacht.

Die vorstehend erläuterten Vorgänge werden für sämtliche Segmente ausgeführt, um das Hologramm-rekonstruierte Bild (S12) zu erzeugen.

Die unterteilten Segmente des Rekonstruktionsbereichs des Hologramm-rekonstruierten Bilds können sich überlappen. Dies macht die Verwendung von Daten an den Schnittträgern unnötig, wo Fehler groß zu sein pflegen, wodurch die Erzeugung eines rekonstruierten Bilds jeder Segmenteinheit ermöglicht wird, wodurch die Genauigkeit in der Nähe des Zentrums des Segments verbessert wird.

Als nächstes werden die Ergebnisse einer Untersuchung in bezug auf den Anwendungsbereich ebenso wie die Auflösung und Genauigkeit gemäß dieser erfindungsgemäßen Ausführungsform mittels Computersimulation erläutert.

Die bei der Hologramm-Messung genutzte Empfangsantenne verwendet eine Dipol-Antenne mit einer festangebrachten bzw. stationären Reflexionsplatte zur Verringerung von Änderungen der Antennenrichtfähigkeit aufgrund des Antennen-Abtastsystems. Die beim Experiment tatsächlich genutzte Antenne weist ein koaxiales halbstarres Kabel auf, das genau $\lambda/4$ vom Zentrum einer Basisplatte der Größe $2,3\lambda \times 2,3\lambda$ als Reflektor vorspringt. Der äußere Leiter des vorspringenden Koaxialkabels ist durch Schlitzte einer Länge von $\lambda/4$ in zwei unterteilt, wobei ein Ende des äußeren Leiters mit dem koaxialen Kernleiter verbunden und das andere Ende einfach mit der Dipol-Antenne verbunden ist, wodurch es bzw. sie als Balun dient.

Fig. 3 zeigt den Aufbau und die Stromverteilung eines Abtastempfangsantennenelements für eine Hologramm-Messung ($f = 10$ GHz), das einen Balun enthält und durch ein Momentverfahren analysiert wird. Die gesamte Richtfähigkeit der Antenne wurde aus dieser Stromverteilung erhalten und eine Computersimulation einer Hologrammbeobachtung und eine Bildrekonstruktion wurden ausgeführt.

Bei der nachfolgend erläuterten Computersimulation beträgt die Größe der Hologramm-Meßoberfläche $D = 19,2 \lambda$, das Abtastintervall beträgt $0,3 \lambda$, die Anzahl an Proben bzw. Abtastungen beträgt $64 \times 64 = 4096$, und der Bereich der Wellenquelle ist bzw. beträgt $L = 5D$.

Fig. 4 zeigt die Ergebnisse einer Computersimulation, die ausgeführt wurde, um die Auflösung des rekonstruierten Bilds mit der Wellenquellenposition auf der x-Achse für dasjenige Verfahren zu vergleichen, das eine Quasi-Fourier-Transformierte bzw. -Transformation mittels Fresnel-Approximation unter Verwendung der Quasi-Fourier-Transformierten bzw. -Transformation der Druckschrift (9) verwendet, und für das Verfahren gemäß der partiellen Divisions-Fourier-Transformierten der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In der Tabelle bezieht sich "Fresnel" auf das Verfahren, das die Quasi-Fourier-Transformierte bzw. -Transformation durch Fresnel-Approximation nutzt, "voll" bezieht sich auf das Verfahren mit der partiellen Divisions-Fourier-Transformierten bzw. -Transformation gemäß der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, und das Amplitudenverhältnis der rekonstruierten Bildverteilung ist in Klammern enthalten. Bei der Wellenquelle handelt es sich um eine Punktquelle in der horizontalen Richtung, die in x_s, y_s angeordnet ist. Bei dieser Simulation beträgt das Intervall bzw. der Zwischenraum z' zwischen der Hologramm-Meßoberfläche und der Wellenquellenoberfläche $66,7 \lambda$. Sowohl eine -3 -dB-Breite des Wellenquellenbilds sind als Auflösung dargestellt bzw. bezeichnet. Bei einem Verfahren unter Verwendung einer Quasi-Fourier-Transformierten durch Fresnel-Approximation werden die Hologramm-Meßdaten jedoch mit $\exp(j\pi(x^2 + y^2)/\lambda z')$ multipliziert und die Fourier-Transformation wird ausgeführt, wodurch das rekonstruierte Bild ein Wellenzahlenraum (Fourier-Spektrum) wird und der Schneidfehler (Aufreten von Stördaten aufgrund der Diskontinuität) der Meßdaten nimmt signifikant zu und beeinträchtigt das rekonstruierte Bild. Die Hologramm-Meßdaten müssen deshalb mit einer ausreichend glatten Wichtungsfunktion, beispielsweise $(1 + \cos(2^{1/2}\pi(R/D)))$ multipliziert werden. Aus demselben Grund wird bei einem Verfahren unter Verwendung einer Quasi-Fourier-Transformierten bzw. -Transformation der effektive Bereich ungefähr 64% des Hologramm-Meßflächenbereichs $D \times D$ und eine Auflösung von -3 dB in der Umgebung der z-Achse wird $\Delta l = 1,25z'/D$. Aus Fig. 4 geht hervor, daß in dem Fall, bei welchem eine Punktwellenquelle von der z-Achse um $x_s > z'/2$ entfernt wird, die Verteilung bzw. Streuung eines Bilds mit einer Auflösung von -20 dB deutlich groß wird. Bei diesem Verfahren ist die Antennenempfindlichkeit der Hologramm-Messung, gegeben durch Gleichung (5), selbstverständlich nicht in Betracht gezogen, und infolge davon ist die absolute Amplitude des rekonstruierten Bilds ungenau, und bei $x_s = 40\lambda$ (120 cm) ungefähr 50% niedriger als bei $x_s = 0$.

Bei dem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Wichtung in der Größenordnung von $(\cos(\pi R/2^{1/2}D))^{1/2}$ für Daten an Rändern, wo der Schneidfehler groß ist, ausreichend. Da dieses Wichten Anlaß für ein Bereich gibt, in welchem eine Bildrekonstruktion verhindert wird, wird ein Überlappungsprozeß für den Transformationsbereich durch Expandieren bzw. Erweitern von a und b gemäß Gleichung (19) in nicht-ganze Zahlen ausgeführt. Durch dieses Verfahren wird der effektive Bereich zu 92% des Hologramm-Meßbereichs $D \times D$, und die -3 -dB-Auflösung einer Punktwellenquelle in der Umgebung der z-Achse wird $\Delta l = 1,04\lambda/z'/D$. Wie aus Fig. 4 hervorgeht, ist in denjenigen Bereichen, in welchen eine Punktwellenquelle von der z-Achse um $x_s > z'/2$ abweicht, die -20 -dB-Auflösung Δl um etwa $1/2$ im Vergleich zu dem Fall verbessert, bei welchem eine Fresnel-Approximation verwendet wird.

Fig. 5 zeigt die Ergebnisse der Computersimulation, die ausgeführt wurde, um die Amplituden-Wahrscheinlichkeit eines rekonstruierten Bilds durch das Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu untersuchen. Bei dieser Simulation kann erneut erkannt werden, daß selbst dann, wenn $z' = 66,7\lambda$ und $x_s = 40\lambda$ (120 cm) der Amplitudenpegelfehler des rekonstruierten Bilds innerhalb von 7% liegt. Bei den in Fig. 5 gezeigten Simulationsergebnissen kann der Pegelfehler als vergleichsweise groß erachtet werden, wenn die Wellenquellenposition in der Umgebung von $x_s = y_s = 40\lambda$ (120 cm), weil bei Wandlung von der Gleichung (16) in die Gleichung (18) die Änderung der Empfangsantennenrichtfähigkeit innerhalb des Bereichs von $\pm D/2$ innerhalb der Wellenquellenoberfläche, vom Zentrum der Hologramm-Meßoberfläche aus gesehen, zur Änderung von $\exp(j2\pi r_{m,n}^2/\lambda)$ nicht als relativ vernachlässigbar angesehen werden kann.

Fig. 6 zeigt die Ergebnisse einer Computersimulation, die ausgeführt wurde, um die Beziehung zwischen der Auflösung der Hologramm-Rekonstruktion und dem Abstand z' von der Meßoberfläche zu dem Wellenquellenpunkt beim Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu untersuchen. Aus diesen Simulationsergebnissen kann entnommen werden, daß Δl proportional zu z' ist, wenn $z' > D$. Beispielsweise ist bei einer -3 -dB-Auflösung Δl im wesentlichen gleich $\lambda z'/D$. Diese Ergebnisse zeigen an, daß die Winkelauflösung im wesentlichen festliegt. Die Änderung der Auflösung in bezug auf z' nimmt außerdem ab, wenn $z' < D$, und bei einer -3 -dB-Auflösung ist die Auflösung im wesentlichen auf $\Delta l =$ von $0,6\lambda$ bis $1,2\lambda$ festgelegt. Wenn z' sich der Umgebung von λ annähert, wird die Auflösung, insbesondere bei -12 dB oder -20 dB noch schlechter, und bei einer Auflösung von -20 dB beispielsweise kann ein Minimum $\Delta l = 1,7\lambda$ erhalten werden, wenn $z' =$ von 5λ bis 7λ ; wenn hingegen $z' = 2\lambda$, ist $\Delta l = 3\lambda$. Wie vorstehend erläutert, wird davon ausgegangen, daß dieser Zustand daraus resultiert, daß in einen Bereich eingetreten wird, in welchem eine Kompensation des Einflusses der Richtfähigkeit der Antenne nicht mehr möglich ist.

Die experimentellen Ergebnisse der Hologrammbeobachtung werden als nächstes erläutert.

Unter Verwendung einer Hologrammbeobachtungsvorrichtung, die einen bestimmten Fluktuationspegel bei der Beobachtungsfrequenz als Funktion der Zeit für den Zweck ermöglicht, eine elektromagnetische Wellenleckage von einer aktuellen Vorrichtung zu beobachten, wurde eine Emission von einer Dipol-Antenne beobachtet, eine experimentelle Bestätigung des Visualisierungsbereichs ebenso wie der Auflösung und Genauigkeit wurde ausgeführt, und darüber hinaus werden die Ergebnisse der Ausführung der Visualisationsexperimente der elektromagnetischen Wellenquellenleckage ausgehend von einer tatsächlichen Vorrichtung (Metallgehäuse) erläutert. Fig. 7 zeigt den Aufbau einer Meßvorrichtung, die für den Zweck von Experimenten zur Beobachtung tatsächlicher Radiohologramme bereitgestellt wurde. In Fig. 7 wird die Hologramm-Messung auf einer Abtastantennenoberfläche ausgeführt. An der Abtastantenne 3 empfangene Si-

gnale werden in einem Spektrum-Analysator (Advantest R3271) gewählt, in eine IF (Zwischenfrequenz) von 21,4 MHz gewandelt und auf ein 1 MHz-Band gefiltert. Um Phasenfluktuationen bzw. -schwankungen aufgrund des Zeitablaufs während der Hologramm-Messung zu beseitigen, wird eine Bezugswelle in einem zusätzlichen vollständig phasenverriegelten Spektrum-Analysator empfangen. Die Bezugswelle wird außerdem von einer feststehenden Antenne 4 oder einer Direktrauscherzeugungsquelle 6 abgenommen.

Das 21,4-MHz-Hologramm-Meßsignal und das Bezugssignal, die in zwei Spektrum-Analysatoren empfangen und in eine Zwischenfrequenz gewandelt wurden, werden außerdem jeweils in 15,4 MHz bzw. 14,4 MHz gewandelt und in einem Multiplizierer multipliziert. In dem Ausgangssignal dieses Multiplizierers werden die Multiplikation der Frequenzkomponente des Hologramm-Meßsignals mit der identischen Frequenzkomponente des Bezugssignals in eine einzige Frequenz von 1 MHz gewandelt, und außerdem enthält die Phase dieses 1 MHz-Signals Information, die proportional zur Phasendifferenz zwischen dem Hologramm-Meßsignal und dem Bezugssignal ist.

Dieses 1 MHz-Signal wird mit einem Abtasttakt abgetastet, der mit bzw. in sämtlichen lokalen Oszillatoren synchronisiert ist, und die Amplitudenverteilung und die relative Phasenverteilung in bezug auf die Bezugswelle auf der Hologramm-Meßoberfläche können durch Synchronermittlung unter Verwendung eines Fourier-Integrals erhalten werden. Wenn die Rekonstruktionsauflösung des Hologrammbilds berücksichtigt wird, liegt der experimentelle Frequenzbereich in dieser Vorrichtung zwischen 2 GHz bis 26,5 GHz. Außerdem betrug der Hologramm-Meßabtastbereich $57 \text{ cm} \times 57 \text{ cm}$ und die Antennenbewegungsschritte waren kleiner als $\lambda/2$ basierend auf der Abtasttheorie.

Fig. 8 zeigt die Ergebnisse einer Beobachtung durch eine Dipol-Antenne, die ausgeführt wurde, um experimentell die Visualisierungsgenauigkeit einer elektromagnetischen Wellenquelle durch die erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu bestätigen. Die experimentellen Beobachtungen wurden ausgeführt unter Verwendung von Frequenzen von 9 GHz und 10 GHz und frequenzmodulierten Wellen eines 1-MHz-Bands. Eine Dipol-Antenne wurde als Wellenquelle verwendet, um 45° ausgehend von der x-Achse gedreht, unter einem Abstand von $z' = 200 \text{ cm}$ von der Beobachtungsfläche und verschoben mit 30 cm Intervallen von -90 cm bis 120 cm auf der x-Achse. In Fig. 8 sind eine Hologramm-Messung und eine Wellenquellenrekonstruktion ausgeführt bzw. dargestellt und die Amplitudenwerte des Wellenquellenbilds, für jede der verschiedenen Positionen dargestellt. Bei diesen experimentellen Beobachtungen wurde das verwendete Bezugssignal durch Aufteilen eines Signals erzeugt, das in eine Dipol-Antenne eingegeben wurde.

Diese experimentellen Ergebnisse zeigen eine beträchtliche Abhängigkeit von der Frequenz und Polarisation der Beobachtung, und die Genauigkeit der Experimente ist nicht besonders hoch. Der maximale Amplitudenfehler beträgt 26% und ein beträchtlich größerer Fehler tritt auf als bei den in Fig. 5 gezeigten Simulationsergebnissen. Betrachtet man die Daten für 9 GHz, führt die Simulation jedoch im wesentlichen zu einer Übereinstimmung. Quellen des hohen Pegels eines Fehlers, der in Betracht gezogen werden kann, umfassen die Aberration der Richtfähigkeit der Dipol-Antenne, die als Beobachtungsgegenstand verwendet wird, ebenso wie die Aberration der Richtfähigkeit der Antenne, die für die Hologramm-Messung benutzt wurde. Wie in Fig. 9 gezeigt, stimmen die experimentellen Ergebnisse gut mit den Simulationsergebnissen im Hinblick auf die Visualisierungsauflösung einer Punktwellenquelle überein. Bei beispielsweise einer Auflösung von -20 dB gilt $\Delta l = 2,3$ bis $3,4 (\lambda z/D)$.

Fig. 10 zeigt die Ergebnisse einer experimentellen Visualisierung unter der Annahme einer elektromagnetischen Wellenleckage ausgehend von einer tatsächlichen vergleichsweise großen Vorrichtung (EUT, sich unter Test befindende Anlage). Eine Hologramm-Messung wurde sowohl für einen Zustand durchgeführt, bei welchem sämtliche Türen der EUT geschlossen waren, wie für einen Zustand, bei welchem lediglich eine Tür offen war. Fig. 11 zeigt ein Photo der EUT, die als Beobachtungsgegenstand verwendet wurde. Die in Fig. 10 gezeigten Messungen wurden durch Anordnen einer frequenzmodulierten Wellenquelle im 1-MHz-Band auf 10 GHz innerhalb der EUT erhalten und daraufhin durch Durchführen von Hologrammbeobachtungen in einer Position innerhalb des Raums sowie 2 m weg von der EUT. Außerdem betrug der Hologramm-Meßbereich $57 \text{ cm} \times 57 \text{ cm}$, die Abtastschritte betrugen $0,9 \text{ cm}$ und der Visualisierungsbereich betrug $285 \text{ cm} \times 285 \text{ cm}$. Eine stationäre Antenne in der Nähe der EUT angeordnet wurde als die Bezugswelle verwendet.

Wie aus den Visualisierungsergebnissen hervorgeht, die in Fig. 10 gezeigt sind, sind in dem Zustand, in welchem eine Tür geöffnet ist (rechte Seite) sowohl die J_x -Komponente wie die J_y -Komponente in der Türöffnung weit verbreitet bzw. verteilt, während im Zustand geschlossener Tür lediglich die J_x -Komponente in dem Türspalt konzentriert ist. Wie ferner hervorgeht, ist ein offener Abschnitt im unteren Abschnitt der EUT zum Ausleiten von Kabeln vorhanden, und diese Emissionen aus diesem Bereich sind besonders stark, wenn die Tür geschlossen ist. Außerdem ist zu erkennen, daß Emissionen vom offenen Abschnitt des unteren Abschnitts der EUT durch die Bodenoberfläche reflektiert werden.

Wie vorstehend erläutert, hat die vorliegende Erfindung die Wirkung, die Zeit zu verringern, die zum Erhalten von Visualisierungsergebnissen aus Hologramm-Meßdaten $V(R)$ durch die Verwendung einer partiellen FFT resultieren.

Wenn beispielsweise die Anzahl an Bestandteilen der Daten $V(R)$ $N = 64$ beträgt und die Visualisierungspunkte $M = 640$, beträgt der Berechnungsaufwand ungefähr $1/1000$ von demjenigen, der für das Verfahren gemäß dem Stand der Technik erforderlich ist, das vorstehend erläutert ist, und die Zeit, die erforderlich ist, um die Visualisierungsergebnisse zu erhalten, kann ebenfalls auf einen praktikablen Pegel verringert werden.

Durch Überlappen der Segmentierung des Rekonstruktionsbereichs des rekonstruierten Hologrammbilds hat die vorliegende Erfindung die Wirkung die Verwendung von Daten an Rändern zu vermeiden, die einen hohen Schneidfehlerpegel aufweisen, wodurch die Erzeugung eines rekonstruierten Bilds in Segmenteinheiten möglich ist, in welchem die Genauigkeit sich mit Annäherung an das Zentrum eines Segments verbessert.

Zur Bestätigung der Wirksamkeit der vorliegenden Erfindung wurde eine Untersuchung durch Computersimulation in bezug auf den Anwendungsbereich ebenso wie bezüglich der Auflösung und Genauigkeit der vorliegenden Erfindung ausgeführt, wobei ein numerisches Hologramm-Rekonstruktionsverfahren, welches die Fresnel-Approximation oder die Fraunhofer-Approximation nicht verwendet, aus einer Fourier-Transformierten bzw. Fourier-Transformation durch partielle Division abgeleitet wurde, die eine Kompensation der Richtfähigkeit der Empfangsantenne umfaßt, um eine relative hohe Auflösung und einen breiten Visualisierungsbereich selbst dann zu erzielen, wenn die Hologramm-Meßoberfläche in bezug auf die Vorrichtung klein ist, die als Beobachtungsgegenstand dient.

Unter Verwendung einer Hologramm-Beobachtungsvorrichtung, die einen bestimmten Fluktuationspegel der Beob-

achtungsfrequenz als Funktion der Zeit zu dem Zweck erlaubt, elektromagnetische Wellenleckage von einer tatsächlichen Vorrichtung zu beobachten, wurde die Emission von einer Dipol-Antenne beobachtet und eine experimentelle Bestätigung wurde in bezug auf den Visualisierungsbereich ebenso wie in bezug auf die Auflösung und Genauigkeit ausgeführt, wodurch letztendlich die experimentellen Visualisierungsergebnisse der elektromagnetischen Wellenquellenleckage von bzw. ausgehend von einer tatsächlichen Vorrichtung (Metallgehäuse) gezeigt sind, und die Wirksamkeit der vorliegenden Erfindung bewiesen ist.

Die zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezug auf die beiliegenden Figuren erläutert.

Wie in Fig. 12 gezeigt, wurde eine Hologrammbeobachtung auf zwei Abtastoberflächen ausgeführt, einer Abtastoberfläche 1 und einer Abtastoberfläche 2. Zwei Sondenantennen, eine horizontale Polarisations- und eine vertikale Polarisationssondenantenne sind auf jeder Abtastoberfläche angeordnet, und die Spannungsvektoren, die durch diese Antennen empfangen werden, lauten:

$$V_1(R) = \begin{bmatrix} V_{h1}(R) \\ V_{v1}(R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{h1}(x, y) \\ V_{v1}(x, y) \end{bmatrix} \quad (21)$$

für die Abtastoberfläche 1, und

$$V_2(R) = \begin{bmatrix} V_{h2}(R) \\ V_{v2}(R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{h2}(x, y) \\ V_{v2}(x, y) \end{bmatrix} \quad (22)$$

für die Abtastoberfläche 2.

In Fig. 12 bezeichnen Δx und Δy das Ausmaß der Versetzung der Abtastoberfläche 1 und der Abtastoberfläche 2. Die Polarkoordinatenwinkel zwischen jeder Antenne, die im Punkt $R = (x, y; z = 0)$ auf der Abtastoberfläche 1 angeordnet ist, und der Wellenstromvektor am Punkt $R' = (x', y', z')$ lauten:

$$\theta_x = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left[\frac{x - x'}{\sqrt{z^2 + (y - y')^2}} \right] \quad (23)$$

$$\theta_y = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left[\frac{y - y'}{\sqrt{z^2 + (x - x')^2}} \right] \quad (24)$$

$$\theta_z = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left[\frac{z}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} \right] \quad (25)$$

$$\phi_z = \tan^{-1} \left[\frac{y-y'}{x-x'} \right] \quad (26)$$

$$\theta_h = \pi - \theta_x \quad (27)$$

$$\theta_v = \pi - \theta_y \quad (28)$$

$$\phi_h = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left[\frac{y-y'}{z} \right] \quad (29)$$

$$\phi_v = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left[\frac{x-x'}{z} \right] \quad (30)$$

Die Polarkoordinatenwinkel zwischen jeder Antenne, die am Punkt $R = (x, y, z = 0)$ auf der Abtastoberfläche 2 angeordnet ist und dem Wellenquellenstromvektor am Punkt $R' = (x', y', z')$ werden durch Ersetzen von x durch $x + \Delta x$ und Ersetzen von y durch $y + \Delta y$ in Gleichung (12) bis (19) erhalten, was zu $\theta_x', \theta_y', \theta_z', \Phi_z', \theta_h', \theta_v', \Phi_v', \Phi_v'$ führt.

Die Gesamtrichtungseigenschaften bzw. -kennlinien der Sondenantennen, die bei der Hologrammbeobachtung verwendet wurden, werden berechnet durch beispielsweise ein Momentverfahren, und wenn die Hauptpolarisationsempfindlichkeit dieser Sondenantennen $A\theta$ beträgt, und die Querpolarisationsempfindlichkeit $A\Phi$ beträgt, lautet die Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne in Übereinstimmung mit dem Wellenquellenstromvektor:

$$\tilde{A}_H(R-R') = \begin{bmatrix} A_\theta(\theta_h, \phi_h) \sin \theta_x & A_\phi(\theta_h, \phi_h) \sin \theta_y & (A_\theta(\theta_h, \phi_h) \cos \phi_z + A_\phi(\theta_h, \phi_h) \sin \phi_z) \sin \theta_z \\ A_\phi(\theta_v, \phi_v) \sin \theta_x & A_\theta(\theta_v, \phi_v) \sin \theta_y & (A_\phi(\theta_v, \phi_v) \cos \phi_z + A_\theta(\theta_v, \phi_v) \sin \phi_z) \sin \theta_z \\ A_\theta(\theta_h, \phi_h) \sin \theta_x & A_\phi(\theta_h, \phi_h) \sin \theta_y & (A_\theta(\theta_h, \phi_h) \cos \phi_z + A_\phi(\theta_h, \phi_h) \sin \phi_z) \sin \theta_z \end{bmatrix} \quad (31)$$

und die Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne aufgrund der Wellenquellenstromvektoren lautet:

$$\tilde{A}_V(R-R') = \begin{bmatrix} A_\theta(\theta_h, \phi_h) \sin \theta_x & A_\phi(\theta_h, \phi_h) \sin \theta_y & (A_\theta(\theta_h, \phi_h) \cos \phi_z + A_\phi(\theta_h, \phi_h) \sin \phi_z) \sin \theta_z \\ A_\phi(\theta_v, \phi_v) \sin \theta_x & A_\theta(\theta_v, \phi_v) \sin \theta_y & (A_\phi(\theta_v, \phi_v) \cos \phi_z + A_\theta(\theta_v, \phi_v) \sin \phi_z) \sin \theta_z \\ A_\phi(\theta_v, \phi_v) \sin \theta_x & A_\theta(\theta_v, \phi_v) \sin \theta_y & (A_\phi(\theta_v, \phi_v) \cos \phi_z + A_\theta(\theta_v, \phi_v) \sin \phi_z) \sin \theta_z \end{bmatrix} \quad (32)$$

Durch Erweitern der Gleichung (7) gemäß dem Stand der Technik auf drei Dimensionen ergibt sich:

$$J(R') = \tilde{A}^{-1}(R-R') \cdot V(R) \cdot \exp(j2\pi r/\lambda) \cdot r dx dy \quad (33)$$

aus welcher die drei Wellenquellenstromvektorkomponenten gefunden werden und die Visualisierung erzielt werden

können.

$$J(R') = \begin{bmatrix} J_x(R') \\ J_y(R') \\ J_z(R') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_x(x', y', z') \\ J_y(x', y', z') \\ J_z(x', y', z') \end{bmatrix} \quad (34)$$

Wenn in diesem Fall:

$$|\tilde{A}_H(R-R')| \geq |\tilde{A}_V(R-R')| \quad (35)$$

ist der Fehler der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne kleiner als der Fehler der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne, wodurch:

$$\tilde{A}^{-1}(R-R') \equiv \tilde{A}_H^{-1}(R-R') \quad (36)$$

und:

$$V(R) = \begin{bmatrix} V_{h1}(R) \\ V_{v1}(R) \\ V_{h2}(R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{h1}(x, y) \\ V_{v1}(x, y) \\ V_{h2}(x+\Delta x, y+\Delta y) \cdot \exp(j 2\pi (r'-r)/\lambda) \cdot r'/r \end{bmatrix} \quad (37)$$

Wenn andererseits:

$$|\tilde{A}_H(R-R')| < |\tilde{A}_V(R-R')| \quad (38)$$

dann ist der Fehler der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne kleiner als der Fehler der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne, wodurch:

$$\tilde{A}^{-1}(R-R') \equiv \tilde{A}_V^{-1}(R-R') \quad (39)$$

und

$$V(R) = \begin{bmatrix} V_{h1}(R) \\ V_{v1}(R) \\ V_{v2}(R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{h1}(x, y) \\ V_{v1}(x, y) \\ V_{v2}(x+\Delta x, y+\Delta y) \cdot \exp(j 2\pi (r'-r)/\lambda) \cdot r'/r \end{bmatrix} \quad (40)$$

In den Gleichungen (37) und (38) gilt jedoch:

$$r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2} \quad (41)$$

und

$$r' = \sqrt{(x + \Delta x - x')^2 + (y + \Delta y - y')^2 + z^2} \quad (42)$$

Durch Vergleichen der Determinanten der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrizen können, wie vorstehend erläutert, durch Auffinden der Fehlergröße der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne und des Fehlers der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne, durch selektives Verwenden der Empfangsspannungsvektoren $V(R)$ und der inversen Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix $A^{-1}(R-R')$ die drei Komponenten des Wellenquellenstromvektors $J(R')$ gefunden und die Visualisierung erzielt werden. Da die z-Komponente J_z des Wellenquellenstromvektors $J(R')$ ausgehend von der Vorderseite nicht beobachtet werden kann, ist dieser selektive Vorgang von entscheidender Wichtigkeit zur Vermeidung der Empfindlichkeit null entsprechend J_z .

Die Berechnung der Determinante der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix hängt lediglich von dem Positionsvektor R' des Wellenquellenpunkts ab und kann deshalb nicht ohne Berechnung für sämtliche integrale Intervalle ermittelt werden. Wenn mit anderen Worten:

$$| \tilde{A}_H(0-R') | \geq | \tilde{A}_V(0-R') | \quad (43)$$

dann ist der Fehler der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne kleiner als der Fehler der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne, wobei:

$$\tilde{A}^{-1}(R-R') = \tilde{A}_H^{-1}(R-R') \quad (44)$$

was dazu führt, daß:

$$V(R) = \begin{bmatrix} V_{h1}(R) \\ V_{v1}(R) \\ V_{h2}(R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{h1}(x,y) \\ V_{v1}(x,y) \\ V_{h2}(x+\Delta x, y+\Delta y) \cdot \exp(j2\pi(r'-r)/\lambda) \cdot r'/r \end{bmatrix} \quad (45)$$

Wenn andererseits:

$$| \tilde{A}_H(0-R') | < | \tilde{A}_V(0-R') | \quad (46)$$

dann ist der Fehler der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne kleiner als der Fehler der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne, und dies führt zu:

$$\tilde{A}^{-1}(R-R') = \tilde{A}_V^{-1}(R-R') \quad (47)$$

was resultiert in:

$$V(R) = \begin{bmatrix} V_{h1}(R) \\ V_{v1}(R) \\ V_{v2}(R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{h1}(x,y) \\ V_{v1}(x,y) \\ V_{v2}(x+\Delta x, y+\Delta y) \cdot \exp(j2\pi(r'-r)/\lambda) \cdot r'/r \end{bmatrix} \quad (48)$$

Die in der vorstehenden Erläuterung beschriebene vorliegende Erfindung weist die Schritte auf: Einen Schritt zum Ausführen einer Radiohologrammbeobachtung an zwei Abtastoberflächen, einer ersten Abtastoberfläche und einer zweiten Abtastoberfläche, Anordnen einer Horizontalpolarisationssondenantenne und einer Vertikalpolarisationssondenantenne auf jeder Abtastoberfläche, und Aufzeichnen der Spannungsvektorverteilung, die durch die Antennen empfangen wird; einen Schritt zum Berechnen sämtlicher Richtungscharakteristika bzw. -eigenschaften bzw. -kennlinien der Sondenantennen unter Verwendung eines Momentverfahrens, Auffinden der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne und der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne aufgrund von Wellenquellenstromvektoren; und einen Schritt zum Vergleichen der Determinanten der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrizen, Auffinden der Größe des Fehlers der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne und des Fehlers der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne und das selektive Verwenden der empfangenen Spannungsvektoren und der inver-

sen Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix, Auffinden der drei Wellenquellenstromvektorkomponenten und Bewirken der Visualisierung; wodurch die vorliegende Erfindung die Wirkung hat, die Visualisierung der drei Wellenquellenstromvektorkomponenten zu ermöglichen. Durch Ausdehnen der Visualisierung des Wellenquellenstromvektors von zwei Komponenten auf drei Komponenten hat die vorliegende Erfindung die Wirkung, die Genauigkeit der Wellenvisualisierung von +6 dB auf +1 dB zu verbessern.

Es versteht sich jedoch, daß, obwohl die Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung in der vorstehenden Beschreibung erläutert wurden, die Offenbarung lediglich beispielhaft erfolgte und Änderungen bezüglich der Anordnung der Teile im Umfang der Erfindung liegen, die durch die anliegenden Ansprüche festgelegt ist.

10

Patentansprüche

1. Verfahren zum Visualisieren eines Wellenquellenbilds, realisiert durch Verwenden einer partiellen Divisions-FFT zum Beschleunigen der Berechnungsholographie, bei dem es sich um ein numerisches Rekonstruktionsverfahren von Hologramm-Meßdaten mittels Radiohologrammbeobachtungen handelt, aufweisend die Schritte:
 - 15 Segmentieren des Rekonstruktionsbereichs eines Hologrammrekonstruierten Bilds durch die Größe der Hologramm-Meßoberfläche,
 - Ausführen einer ersten FFT (Fast Fourier Transform bzw. schnelle Fourier-Transformierte bzw. -Transformation) nach einem Multiplizieren von Hologramm-Meßdaten mit einer Wichtungsfunktion,
 - 20 Ausführen einer zweiten FFT nach Festlegen einer Rekonstruktionsbrennweite und einer numerischen Paarbezeichnung eines Segments des rekonstruierten Bilds, und Multiplizieren mit einer Wichtungsfunktion eines Werts, der durch Multiplizieren einer inversen Antennenempfindlichkeitsmatrix für jedes der Segmente mit einer inversen Ausbreitungsfunktion erhalten wird,
 - Ausführen einer IFFT (Inverse Fast Fourier Transform bzw. inverse schnelle Fourier-Transformation) nach multiplizieren des Ausgangs der ersten FFT durch die zweite FFT,
 - 25 Kompensieren in Segmenteinheiten der Wichtungsfunktion, die beim Multiplizieren der Hologramm-Meßdaten verwendet werden,
 - Kompensieren in Einheiten des Rekonstruktionsbereichs der Wichtungsfunktion, die beim Multiplizieren des Werts erhalten wird, der durch Multiplizieren der inversen Antennenempfindlichkeitsmatrix für jedes Segment mit der inversen Ausbreitungsfunktion erhalten wird,
 - 30 Anzeigen des Ausgangs dieses Schritts in einer Position, welche das Segment bezeichnet und Ausgeben dieses Schritts eines Segment-rekonstruierten Bilds, und
 - Durchführen sämtlicher der vorstehend genannten Vorgänge für sämtliche Segmente und Erzeugen eines Hologramm-rekonstruierten Bilds.
2. Verfahren zum Visualisieren eines Wellenquellenbilds nach Anspruch 1, realisiert durch Verwenden einer partiellen Divisions-FFT zur Beschleunigung der Berechnungsholographie, wobei die Segmentierung Überlappungs-segmente erzeugt.
3. Verfahren zum Visualisieren eines Wellenquellenbilds zum Visualisieren von drei Wellenquellenstromvektorkomponenten aus Hologramm-Meßdaten, die mittels Radiohologrammbeobachtung erhalten wurden, aufweisend die Schritte:
 - 40 Ausführen einer Radiohologrammbeobachtung auf zwei Abtastoberflächen, einer ersten Abtastoberfläche und einer zweiten Abtastoberfläche,
 - Anordnen von zumindest zwei Sondenantennen, einer Horizontalpolarisationsempfangsantenne und einer Vertikalpolarisationsempfangsantenne auf jeder der Abtastoberflächen und
 - 45 Aufzeichnen der Spannungsvektorverteilung, die durch die Antennen empfangen wird,
 - Berechnen der gesamten Richtungseigenschaften bzw. -charakteristika bzw. -kennlinien der Sondenantennen unter Verwenden eines Momentenverfahrens, und Auffinden einer Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne und der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne, die durch die Wellenquellenstromvektoren erzeugt ist, und
 - 50 Vergleichen von Determinanten der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrizen, Auffinden einer Fehlergröße der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Vertikalpolarisationsempfangsantenne und eines Fehlers der Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrix der Horizontalpolarisationsempfangsantenne, und selektives Verwenden von Empfangsspannungsvektoren und inversen Empfangsantennenempfindlichkeitsmatrizen zum Auffinden und Visualisieren der drei Wellenquellenstromvektorkomponenten.

55

 Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

60

65

Fig. 12

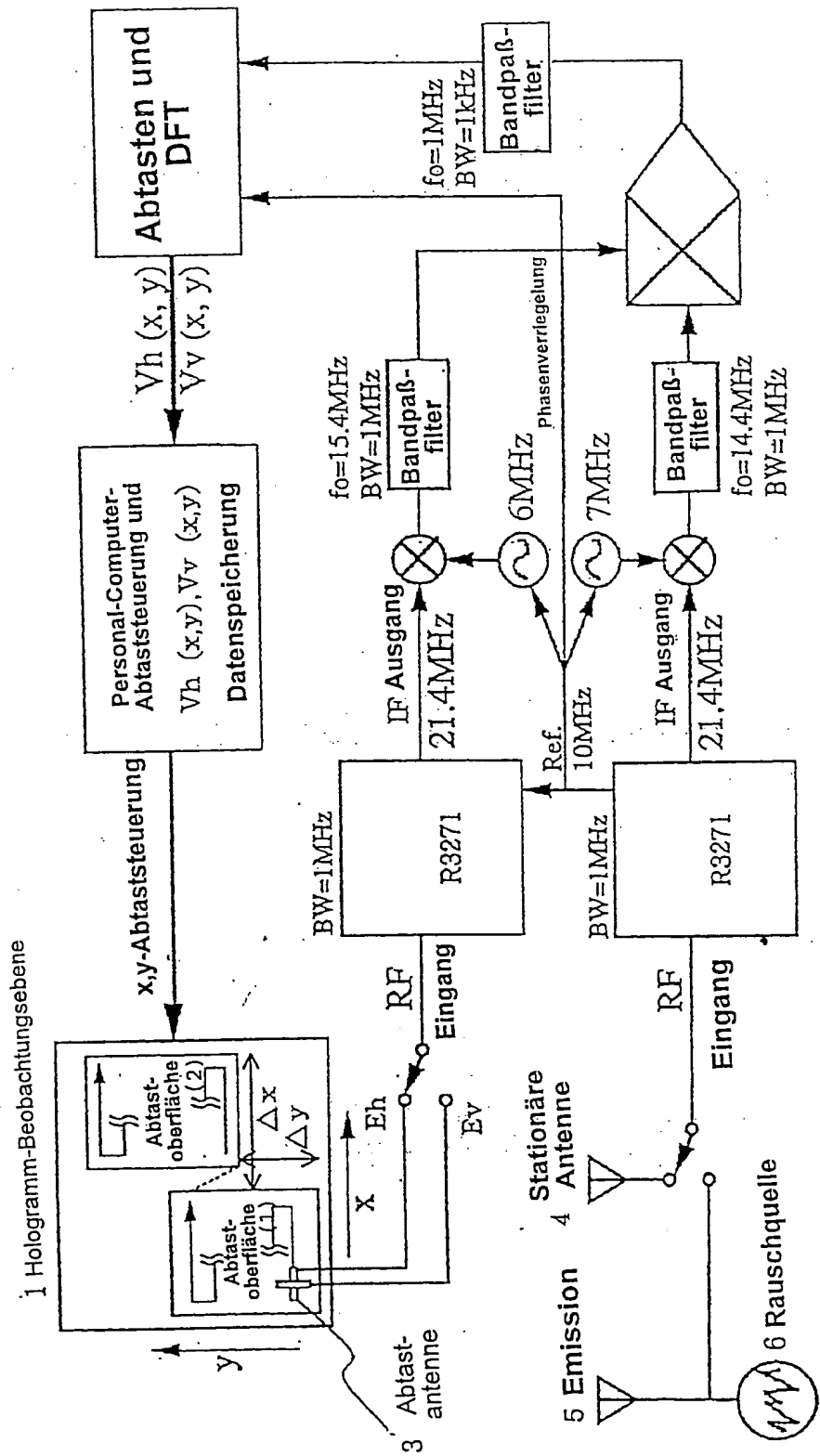
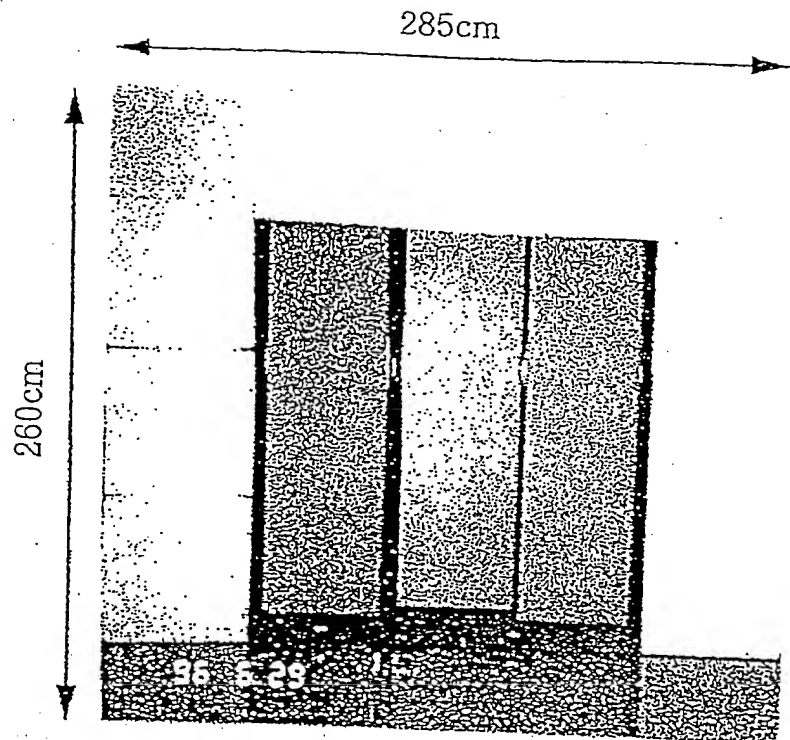
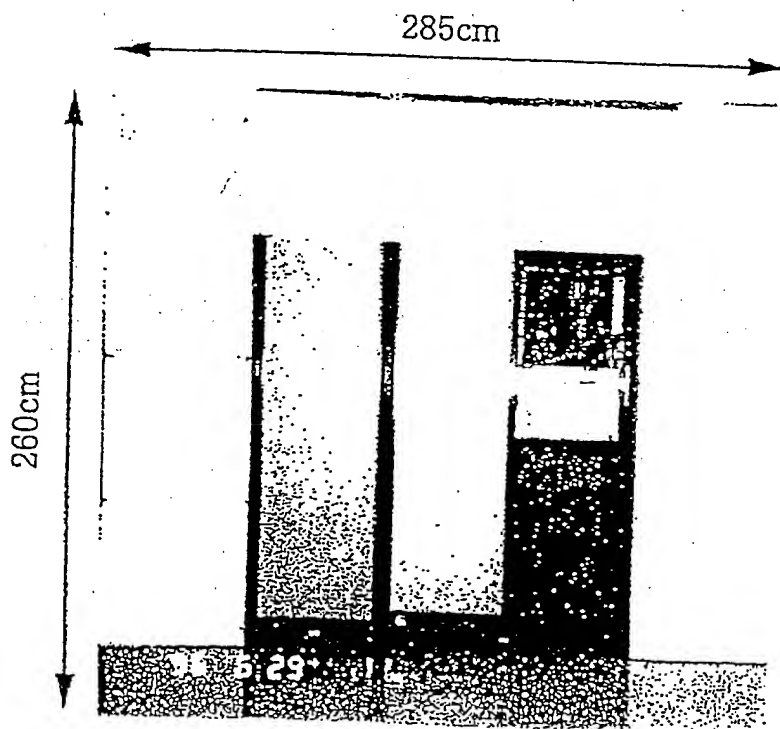


Fig. 11



(a) Tür geschlossen



(b) Tür offen

Fig. 10

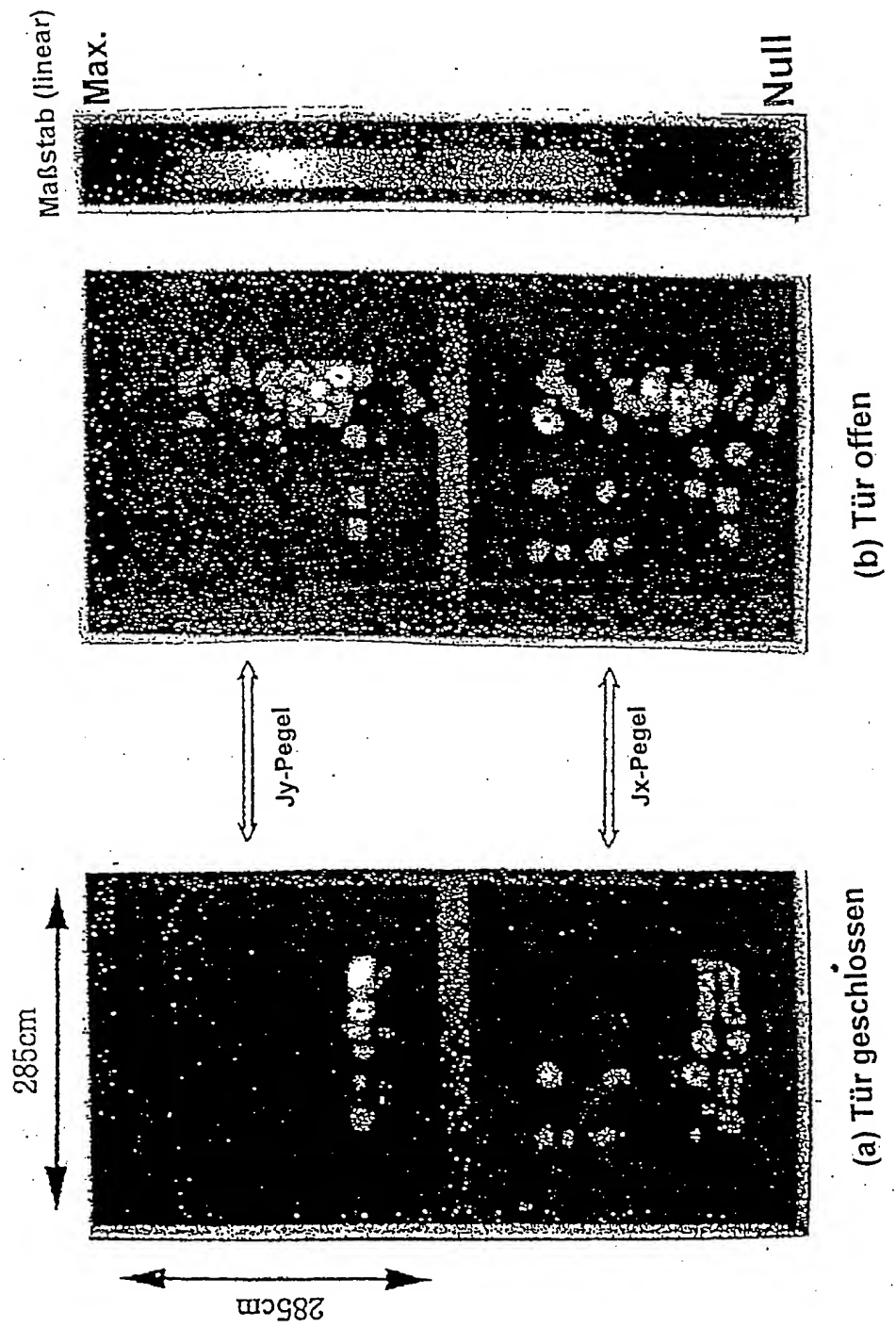


Fig. 8

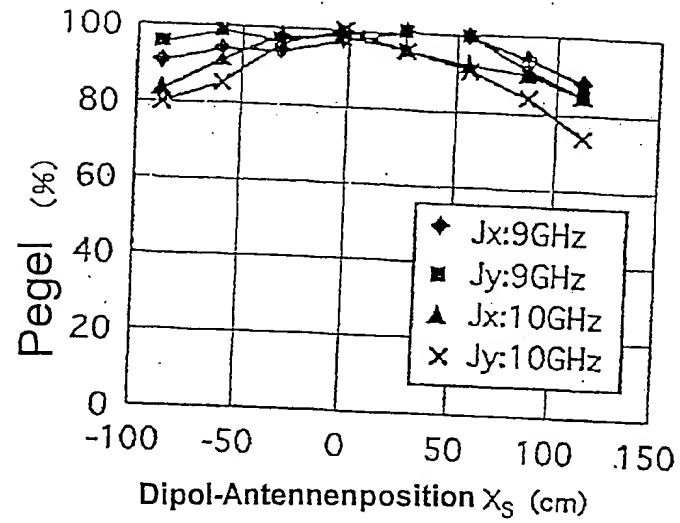


Fig. 9

Bildverbreitung	$z' = 200$ cm $y_s = 0$ cm	Observationsfrequenz	Visualisierungskomponente	Visualisierungsauflösung einer Punktwellenquelle (λ)	
				Theoretischer Wert	Experimenteller Wert
- 3 dB	$x_s = 0$ cm	9GHz	J x	3.54	3.62
		10GHz		3.54	3.60
	$x_s = 120$ cm	10GHz	J x	5.55	5.43
			J y	5.58	5.37
- 20 dB	$x_s = 0$ cm	10GHz	J x	7.80	8.10
		9GHz		7.91	7.86
	$x_s = 120$ cm	9GHz	J x	12.07	11.83
			J y	12.23	11.80

Fig. 7

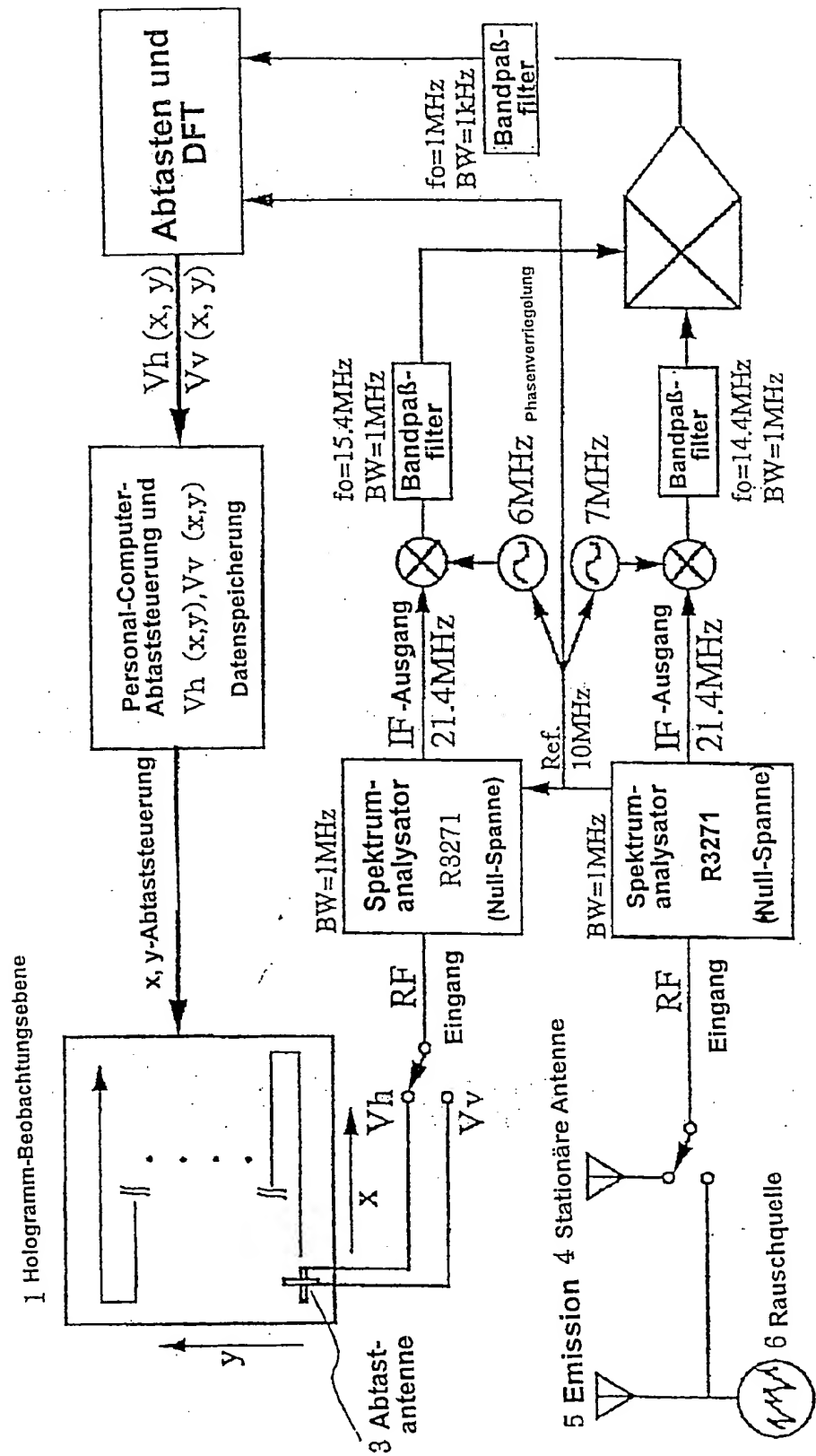
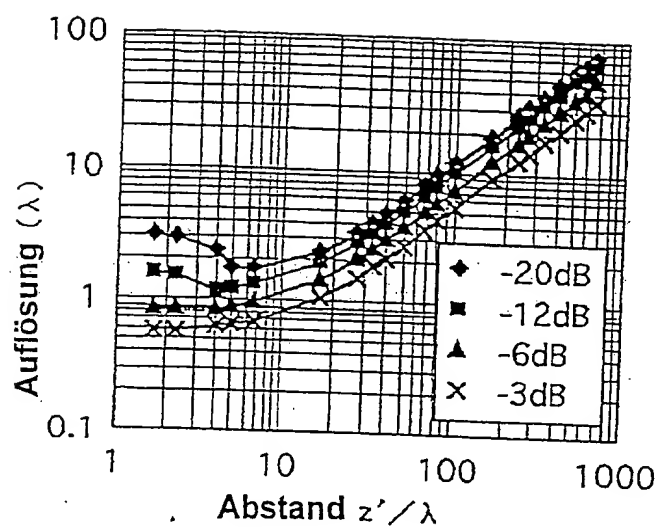


Fig. 6



Fgi. 4

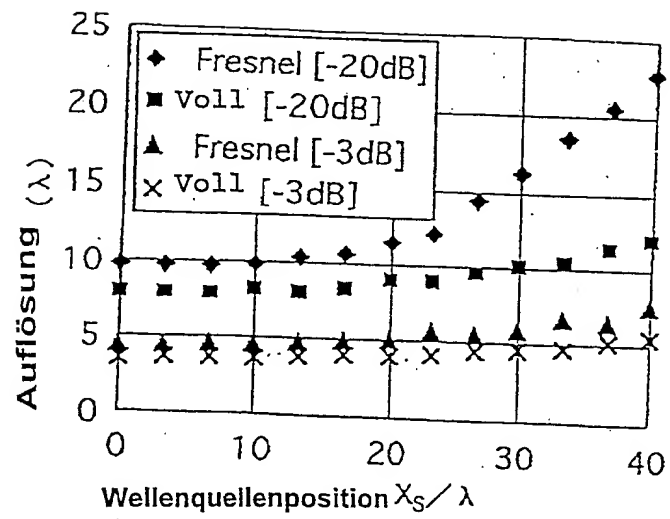
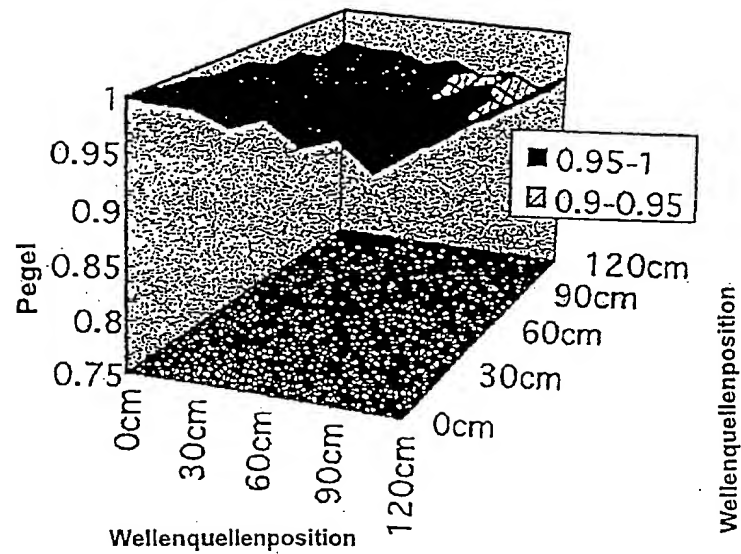


Fig. 5



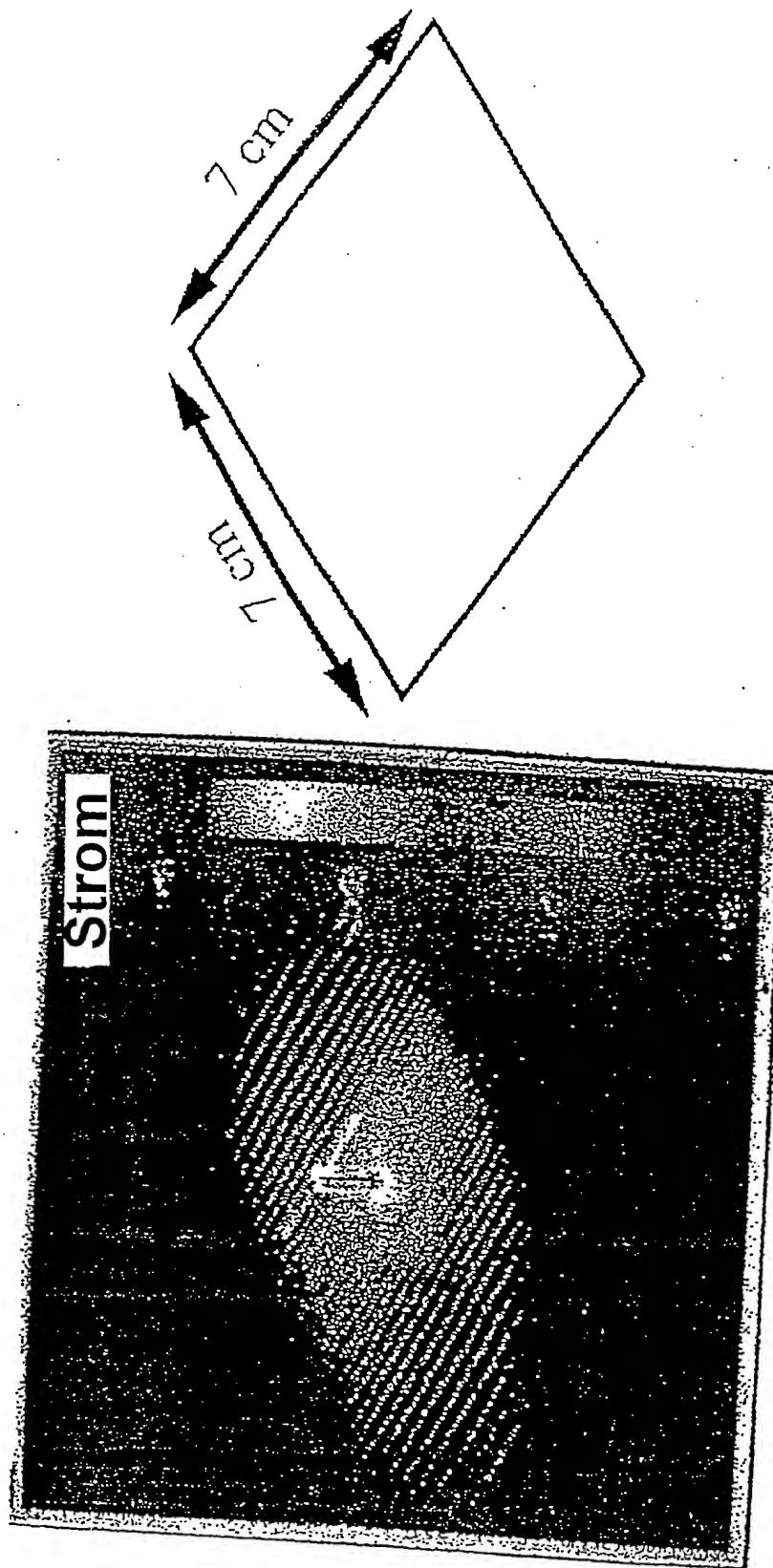


Fig. 3

Fig. 2

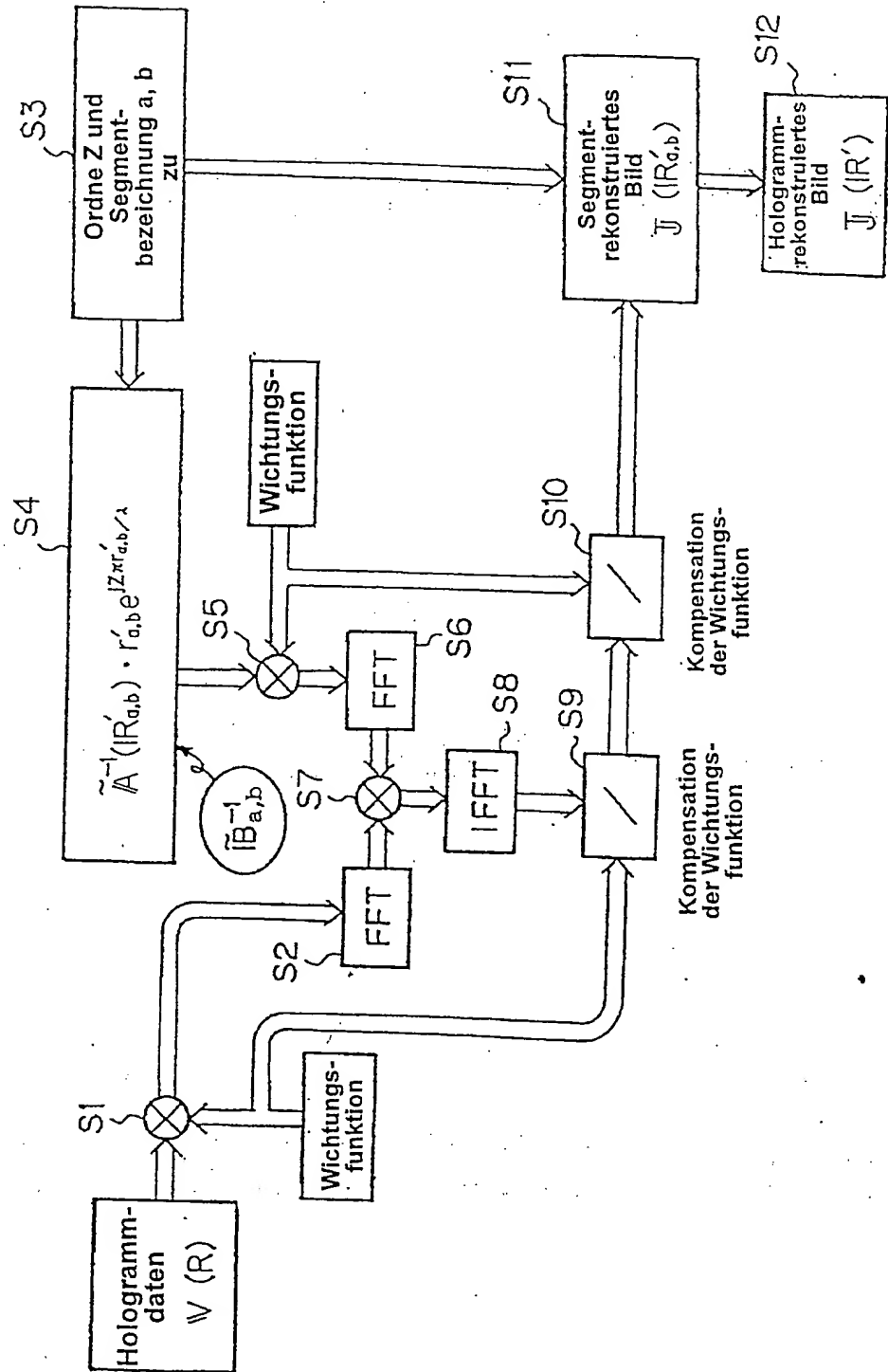
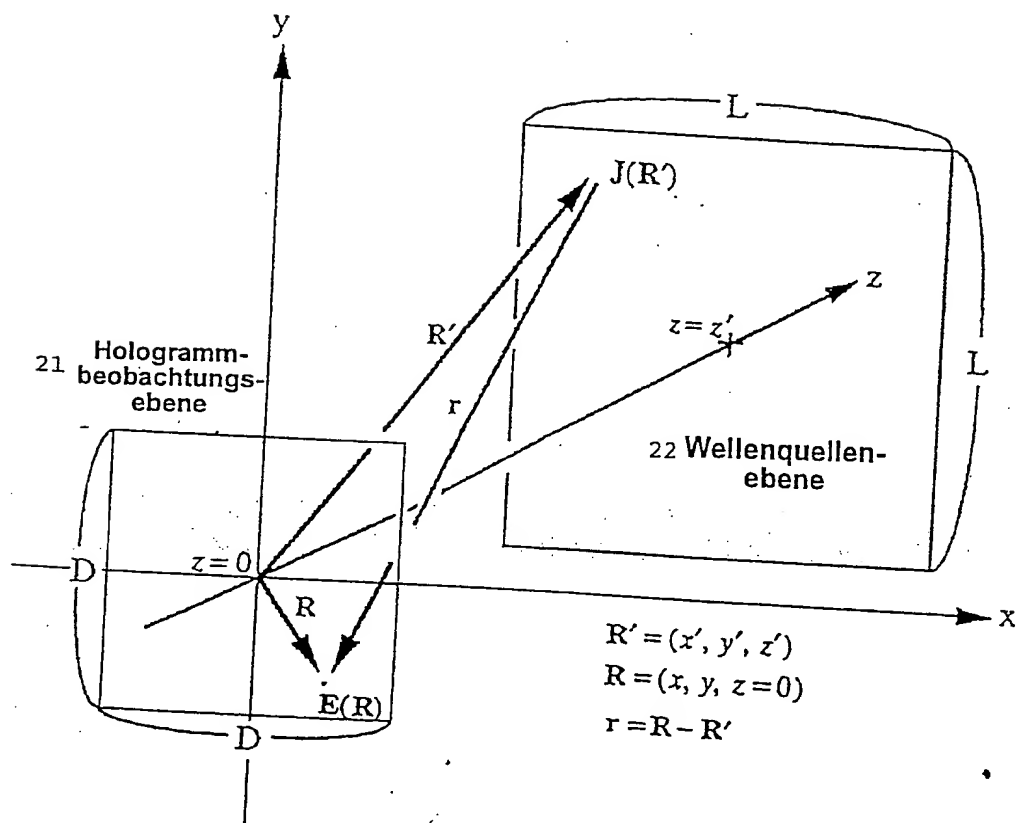


Fig. 1 (Stand der Technik)



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.